

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTA GROSSA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

BRUNO HERMANNUS KUGLER

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA *MACHINE VISION* PARA
CONTROLE DE QUALIDADE DE EMBALAGENS LONGA VIDA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

BRUNO HERMANNUS KUGLER

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA *MACHINE VISION* PARA
CONTROLE DE QUALIDADE DE EMBALAGENS LONGA VIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, do Departamento
de Engenharia Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Zammar

**Ponta Grossa
2019**



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMAMACHINE VISION PARA CONTROLE DE QUALIDADE DE EMBALAGENS LONGA VIDA

por

BRUNO HERMANNUS KUGLER

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 4 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Gilberto Zammar
Orientador

Prof. Dr. Davi Fusão
Membro Titular

Prof. Me. Ruimar Rubens de Gouveia
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares

Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho

Coordenador do Curso

RESUMO

KUGLER, Bruno Hermannus. **Análise da utilização de um sistema *machine vision* para controle de qualidade de embalagens longa vida.** 2019. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Este trabalho analisa uma solução para um problema de falta de embalagens e falhas nas tampas em duas linhas de produção UHT. Este problema estava afetando a qualidade dos produtos que saiam da fábrica e foi identificado pelo setor de garantia da qualidade, que solicitou sua análise pela equipe de manutenção. A opção utilizada foi um sistema *machine vision*, que estava em testes em outro equipamento, e foi escolhido devido a sua disponibilidade. Este equipamento foi adaptado em uma das empacotadoras das linhas afetadas. Através de testes foi analisada sua efetividade para as condições de controle necessárias. Alguns problemas iniciais foram encontrados, devido a erros humanos durante a operação dos equipamentos e às condições de iluminação. Mudanças na fixação do equipamento e melhor controle da iluminação do local de utilização permitiram alcançar melhores resultados. Depois da implementação das melhorias foi possível solucionar os problemas de falta de embalagens e de falta de tampas, e o sistema pode ser utilizado para controle durante toda a produção. Devido às limitações do sensor utilizado, e à necessidade de operação em três turnos de trabalho, não foi possível controlar as impressões de validade e lote das embalagens. Apesar do custo inicial elevado do sistema, os resultados obtidos atenderam as expectativas e necessidades da indústria, fornecendo um resultado adequado e permitindo o controle dos problemas mais graves. Foi estimado o retorno do investimento inicial em um período menor do que dois anos.

Palavras-chave: *Computer vision. Machine vision.* Controle da qualidade.

ABSTRACT

KUGLER, Bruno Hermannus. **Analysis of the use of a machine vision system for long life packaging quality control**. 2019. 40 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Mechanical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

This paper analyzes a solution to the problem of lack of packages and faulty lids in two UHT production lines. This issue was affecting the quality of the products leaving the factory and was identified by the quality control sector, which requested for the maintenance team to verify it. The option chosen was a machine vision system, which was being tested on another equipment, and was selected because of its availability. This equipment was adapted in one of the packers of the affected lines. Through tests, its effectiveness was analyzed for the necessary control conditions. Some initial problems were encountered due to human errors during equipment operation and lighting conditions. Changes in equipment fixation and better control of the lighting conditions of the workplace allowed better results to be achieved. After implementation of the improvements it was possible to solve the problems of lack of packaging and faulty lids, and the system could be used for control during the whole production process. Due to the limitations of the utilized sensor, and the need for operation in three work shifts, it wasn't possible to control the expiration and batch impressions of the packages. Despite the high initial cost of the system, the results achieved met the expectations and needs of the industry, providing an adequate result and allowing control of the most serious problems. The initial investment is expected to be recovered in less than two years.

Keywords: Computer vision. Machine vision. Quality control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho esquemático do funcionamento da empacotadora.....	17
Figura 2 - Sistema machine vision.....	18
Figura 3 - Empacotadora.....	19
Figura 4 - Caixa protetora posicionado acima do empurrador.....	20
Figura 5 - Sensor dentro da caixa protetora.....	21
Figura 6 - Tela do programa.....	22
Figura 7 - Desenho esquemático do sistema de descarte.....	25
Figura 8 - Caixa com aba aberta descartada da linha.....	26
Figura 9 - Fixação do suporte na máquina empacotadora.....	27
Figura 10 - Suporte do sensor esquematizado.....	28
Figura 11 - Alimentação de papelão.....	30
Figura 12 - Posição das lâmpadas.....	31
Gráfico 1 - Número de reclamações recebidas pelo SAC a respeito de defeitos nas embalagens e/ou tampas.....	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 OBJETIVO GERAL.....	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 COMPUTER VISION.....	10
2.1.1 Machine Vision.....	14
2.1.2 Iluminação.....	15
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5. CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O controle da qualidade é um aspecto de grande importância da indústria, pois afeta diretamente a forma como os clientes enxergam a marca e a empresa, e pode atrair ou afastar novos consumidores.

Neste trabalho será realizado um estudo com base na linha de produção UHT (*ultra high temperature* - processo de esterilização de alimentos através de um rápido aquecimento seguido por um rápido resfriamento), de uma unidade de beneficiamento de leite localizada na região dos Campos Gerais, no Paraná.

Foram analisadas duas linhas de produção, as quais que trabalham com embalagem longa vida de um litro. O equipamento escolhido foi a empacotadora de embalagens, que realiza o agrupamento de doze embalagens, posiciona as mesmas dentro de uma embalagem de papelão cartonado e depois faz o fechamento dessas embalagens, que seguem para a paletização. Esta é a última etapa do processo onde as embalagens podem ser analisadas diretamente, e por isso foi escolhida para tentar eliminar o maior número de falhas possíveis.

O problema encontrado nas linhas foram algumas reclamações por parte dos clientes dos produtos a respeito de embalagens sem tampa, com tampa defeituosa, sem prazo de validade ou caixas faltando uma ou mais embalagens. Essas reclamações foram recebidas pelo serviço de atendimento ao consumidor e repassadas para o setor de garantia da qualidade, que solicitou ao setor de manutenção procurar soluções.

Normalmente esses problemas são corrigidos utilizando alguns sensores para detectar a ausência da tampa e pela inspeção visual de um operador que acompanha o processo para verificar a ocorrência de não conformidades. Entretanto o processo não é perfeito, principalmente devido a falha humana, pois a análise visual dos produtos é um processo muito repetitivo e tedioso gerando fadiga ao operador e aumentando a possibilidade de falhas ao longo da jornada de trabalho. O processo também requer um funcionário exclusivamente para realizar essa função para cada linha em operação. Por fim a posição do operador nessa função não é

completamente adequada para longos períodos de trabalho, trazendo riscos ergonômicos a médio e longo prazo devido a precisar ser realizado em pé e com uma leve curvatura das costas, necessários para poder enxergar as caixas dentro da máquina empacotadora. Ao longo da jornada de trabalho também é comum que os operadores adotem posições inadequadas durante o processo, mesmo quando informados sobre os riscos das mesmas, o que pode causar mais problemas de saúde a longo prazo.

Uma solução proposta foi a compra e instalação de sensores de visão com sistema de *machine vision* (visão de máquina) para a detecção de problemas, o qual foi integrado a um sistema de descarte automático das caixas com defeitos.

A tecnologia de *machine vision* é relativamente recente, tendo suas origens em estudos nas áreas de computação, inteligência artificial e robótica realizados nos anos de 1970 (SZELISKI, 2010), mas se aprimorou muito com o passar dos anos, começando a ganhar mais aplicações práticas nos anos 1990, e vindo a se tornar mais comum recentemente, devido a novas tecnologias que permitiram grandes melhorias na precisão dos equipamentos e redução nos custos para aquisição e implantação (SHAPIRO e STOCKMAN, 2000).

Os campos de aplicação atuais são bastante diversificados. Szeliski (2010) cita como exemplos o reconhecimento de caracteres, a inspeção industrial, medicina, segurança de veículos e veículos autônomos, técnicas de cinema e processamento de vídeo, vigilância automatizada e reconhecimento de digitais ou biométrico.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade e a eficiência da utilização de sensores de visão mecânica para controle de qualidade de embalagens longa vida.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Testar um sistema de sensores *machine vision* para controle de qualidade de embalagens;
- Verificar os custos do projeto;
- Implantar o projeto;
- Verificar os resultados obtidos ao longo de 6 meses de operação;
- Criar uma análise final de custo-benefício.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPUTER VISION

A *computer vision* (visão computacional) é uma tecnologia relativamente recente que envolve diversas áreas de conhecimento para desenvolver formas e métodos para permitir a máquinas e equipamentos extrair informações de objetos a partir de imagens obtidas dos mesmos. Visão computacional pode ser definida como uma série de métodos e técnicas utilizadas para interpretar imagens, com o objetivo de imitar características da visão humana, simuladas computacionalmente (ALMEIDA et al., 2007).

Para Shapiro e Stockman (2000) o objetivo da *computer vision* é realizar tarefas analisando objetos físicos reais e cenários baseando-se na sua programação e na análise de imagens. Essa visão é mais realista para o problema, pois para muitas aplicações a totalidade das características na visão humana não é necessária. Para tarefas mais simples muitas vezes apenas a comparação entre duas imagens ou a detecção da forma geral do objeto já são suficientes para a realização da tarefa desejada.

Facon (2002) comenta que estes sistemas visam obter um conjunto de técnicas e metodologias que possam dar suporte ao desenvolvimento de teoria e produtos suficientemente eficientes e confiáveis para aplicações práticas. É importante conciliar aplicações práticas ao desenvolvimento, pois na maioria dos casos existem diversas limitações e outros fatores que podem influenciar os resultados finais. As condições de iluminação, operação, movimentação e controle dos equipamentos no local de utilização precisam ser considerados pois normalmente são muito diferentes dos encontrados em laboratório.

No seu início, nos anos de 1970, consistia em procurar métodos para permitir uma entrada visual para máquinas e robôs e se distinguiu do campo de processamento de imagens porque procurava recuperar a estrutura tridimensional do mundo a partir da imagem e utilizar essa estrutura para o entendimento de todo o cenário (SZELISKI, 2010). As limitações tecnológicas do período dificultaram grandes avanços, e as aplicações eram limitadas a laboratórios de pesquisa. Entretanto pequenas descobertas e melhorias foram sendo adotadas, permitindo avanços progressivos com o passar dos anos. Nos anos seguintes, computadores mais modernos e a aplicação de métodos matemáticos mais avançados trouxeram melhores resultados, principalmente para detecção de contorno e forma.

Na década de 1990 os sistemas e computadores já possuíam um custo muito menor, aumentando sua acessibilidade e permitindo o aparecimento de aplicações práticas fora de laboratório. Kurada e Bradley (1997) fazem um estudo da aplicação para análise de desgaste em ferramentas de usinagem, citando outros trabalhos relacionados realizados anteriormente. WU et al. (1996) estuda uma aplicação prática para um linha de montagem de placas de circuitos. Outras casos como utilização para classificação e seleção de frutas e sementes, aplicações medicinais, controle de qualidade em linhas de produção e utilização militar também começaram a aparecer e se tornar mais comuns desde então. É notório o amadurecimento e as conquistas originadas a partir das pesquisas realizadas na área de Visão Computacional, já que parte significativa do conhecimento científico gerado por essa disciplina nos últimos 30, 40 anos tem se transformado em tecnologia e está, em grande parte, disponível em vários segmentos do mercado (PITERI e RODRIGUES, 2011).

A introdução de novas tecnologias, incluindo-se os sistemas de visão computacional, confere à indústria e seus produtos a qualidade, confiabilidade e competitividade exigidas pelo mercado mundial (RIOS, 2011). Com um mercado mais globalizado e saturado a competição pelos consumidores está cada vez mais acirrada. Por isso sistemas mais modernos e avançados poder trazer as vantagens necessárias para uma empresa se destacar das demais. É importante ajustar os

produtos e processos à realidade internacional, que constitui reduzir custos e fornecer produtos com qualidade superior (BORTH, 2014).

Se realizada de maneira adequada, a implantação do sistema de *computer vision* permite um controle de até 100% da produção, com uma eficácia e velocidade muito maior do que métodos dependentes de análise humana. Sendo um sistema automático, proporciona uma maior velocidade de processamento sem pausas, conseqüentemente, gera um maior volume de produção (MELO e ROLOFF, 2008).

É uma área de pesquisa que conta com métodos de inspeção de forma não destrutiva, não intrusiva e rápida (BORTH, 2014). Como um método não destrutivo de inspeção não ocorrem perdas devido ao processo, permitindo a utilização para grande volume ou até mesmo totalidade da produção. Na maioria dos sistemas automatizados de produção tenta-se obter 100% de garantia de qualidade para todas as partes, submontagens e produtos finais (WU et al., 1996). Por não ser intrusivo não há perda na eficiência da produção e não são necessárias paradas para a inspeção. A agilidade do processo depende das características a serem analisadas e do *hardware* e *software* utilizados. Para casos mais simples normalmente não há redução na velocidade da produção e o custo dos equipamentos é relativamente baixo. Para situações mais complexas podem ser necessárias várias câmeras em diversas posições, uma qualidade de imagem maior e um computador dedicado para realizar o processamento de grande volume de dados, gerando um custo muito mais elevado.

Algumas aplicações muito recentes de tecnologia são bons exemplos da aplicação desses sistemas. Muitos celulares com reconhecimento de face e de digital utilizam esses sistemas e nos veículos autônomos podem ser encontrados alguns dos últimos avanços na área. A *computer vision* vem sendo usada para muitas aplicações práticas atuais, como na segurança de automóveis para detectar objetos inesperados e/ou pedestres na rua (SZELISKI, 2010).

Segundo Facon (2002) e Golnabi e Asadpour (2007) o processo da *computer vision* pode ser dividido em algumas etapas. A primeira consiste em adquirir a imagem usando um sensor fotográfico e depois convertê-la para uma imagem digital

através da utilização dos pixels. Em seguida pode ser feito um pré-processamento para corrigir os defeitos e imperfeições maiores que venham a ocorrer durante a aquisição da imagem. A terceira etapa é o processamento de imagem, com o objetivo de converter as imagens em um grupo de dados numéricos que possam ser processados por um computador. Depois vem a segmentação, que divide a imagem em regiões de importância utilizando de contornos ou similaridades. Segue-se a extração de recursos que identifica as características inerentes de um objeto dentro da imagem e a classificação de padrões, onde um dos objetos é identificado como fazendo parte de um grupo de outros objetos. Por fim os dados das etapas anteriores são armazenados e medidos, para permitir uma compreensão e descrição final do fenômeno na integração.

Do ponto de vista humano muitas pessoas possuem uma noção errônea do processo de automatização, considerando que as máquinas causam a redução dos empregos ao substituírem o trabalhador humano por máquinas. Porém o objetivo do uso da visão computacional, não é eliminar o operador humano de suas funções, mas dar-lhe ferramentas adequadas e eficientes para que trabalhos repetitivos possam ser executados com rapidez e precisão, visando basicamente a redução de custos e melhor aproveitamento de tempo (RUDEK et al., 2001). Na maioria das aplicações desses sistemas os trabalhos são extremamente repetitivos, tediosos e cansativos, podendo gerar problemas de saúde para os trabalhadores devido a repetição de movimentos, e tendo uma eficiência muito menor, pois a velocidade de processamento de grandes volumes de produtos é muito mais baixa. Utilizando uma análise visual, existe uma subjetividade que varia de acordo com cada pessoa, podendo causar diferenças significativas com a mudança do operador. Também existe uma incidência considerável de falha humana devido a natureza repetitiva do processo quando realizada durante períodos longos de tempo. Sabe-se que humanos estão sujeitos a cometer erros, e eles são lentos e menos consistentes do que sistemas de inspeção automatizados (WU et al., 1996).

Outras aplicações envolvem situações onde não é possível utilizar operadores humanos, como ambientes tóxicos, com radiação ou com temperaturas extremas. Os sensores também podem utilizar faixas de luz invisíveis ao olho humano, como

infravermelho e ultravioleta (CHEN et al., 2002). Isso permite algumas aplicações especiais para agricultura e fabricação para detecção de falhas mesmo que elas não estejam diretamente na superfície.

Outro ponto importante para algumas aplicações é ressaltado por Borth (2014), o processo permite o armazenamento de dados para posterior análise. Através da utilização da memória interna dos equipamentos, ou de bancos de dados para aplicações maiores, é possível armazenar um grande número de imagens caso as mesmas sejam necessárias para análises futuras, controle de falhas ou para rastreamento de produtos.

Segundo Williamson (2018) as novas tendências do setor apontam para uma maior integração entre os sistemas, visando se adaptar às novas características da indústria 4.0, com novos protocolos e padrões tendo sido estudados para implantação na Europa , o que deve facilitar a instalação e integração dessas tecnologias a outros equipamentos no futuro.

2.1.1 *Machine Vision*

A *machine vision* (visão de máquina) é uma subdivisão da *computer vision* que tem ênfase em aplicar conceitos e tecnologias estudados por ela para resolver problemas reais. Consiste na aplicação integrada dos equipamentos e programas desenvolvidos (OTTAVIAN et al., 2012). Para situações de utilização na indústria esses sistemas são mais simples e fáceis de instalar, pois normalmente as versões disponíveis comercialmente já fornecem o equipamento e programa para seu funcionamento integrados, e o usuário não precisa de conhecimentos avançados de computação para sua programação, necessitando apenas realizar pequenos ajustes e adaptações para garantir um funcionamento adequado.

2.1.2 Iluminação

Um dos aspectos mais importantes para garantir o funcionamento correto dos sistemas de *computer vision* é a iluminação. Um dos parâmetros mais importantes no desenvolvimento de um sistema de *machine vision* é tipo mais eficiente de iluminação (GOLNABI e ASADPOUR, 2007). Existem diversas opções de iluminação no mercado atual, com grandes variações de preços, aplicações e desempenho, e a escolha do tipo adequado deve considerar o local de aplicação e as condições do ambiente de trabalho. Em um ambiente industrial, raramente obtém-se as condições ideais de iluminação e contraste (RUDEK et al., 2001). Por isso na maioria das vezes é preciso realizar um complemento com iluminação artificial adequada.

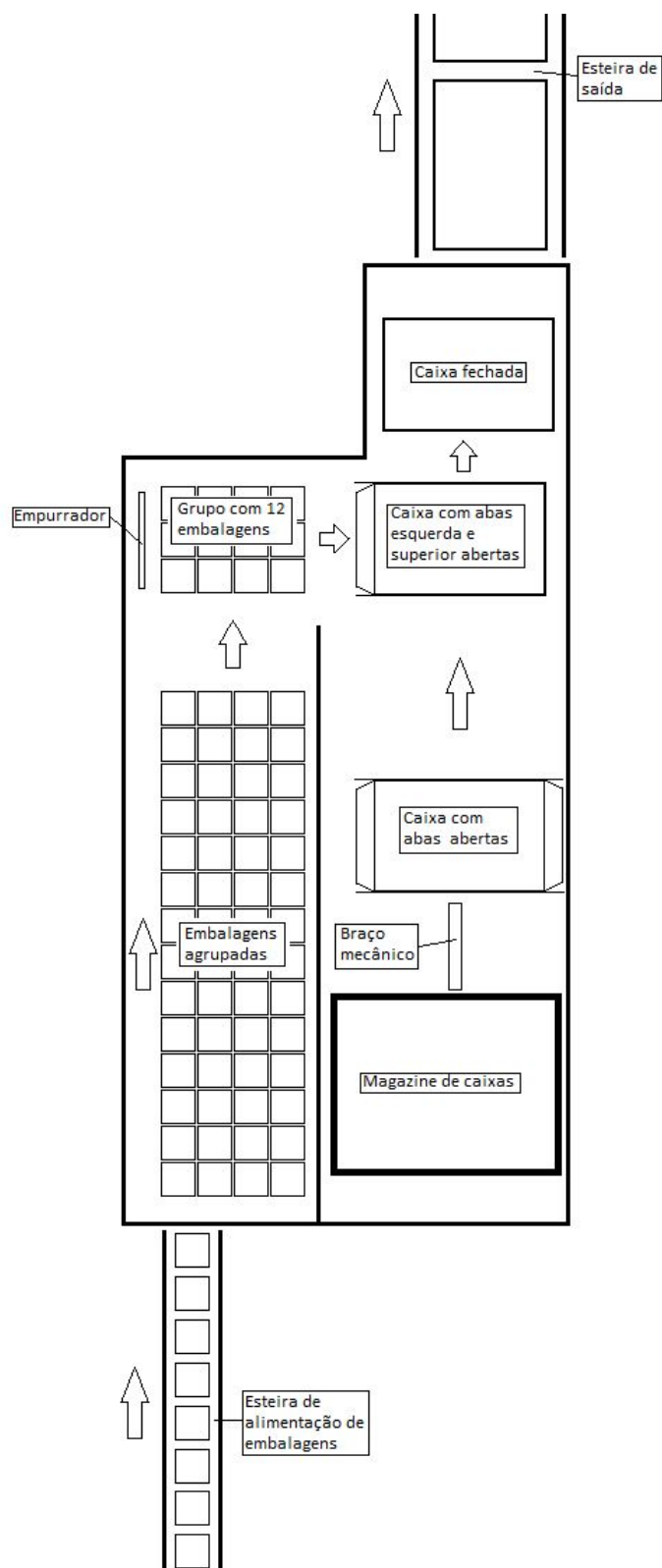
Se não forem detectados e corrigidos, falhas no sistema de iluminação podem afetar drasticamente a reprodução de resultados (OTTAVIAN et al., 2013). Pequenas alterações na iluminação podem mascarar falhas ou fazer o sistema de detecção parar de funcionar completamente, causando problemas no controle da qualidade ou causando paradas ou perdas desnecessárias. Por isso a manutenção da iluminação é de grande importância para o funcionamento contínuo do sistema.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os equipamentos analisados no trabalho foram duas empacotadoras de embalagens, montadas para trabalhar com embalagens longa vida com capacidade de um litro, as quais são utilizadas em duas das linhas de produção da fábrica. Ficam localizados na parte final do processo, e são responsáveis por receber as caixas com o produto envasado, com validade e lotes impressos e com a tampa colada. Realizam o agrupamento das embalagens, que são alimentadas continuamente por uma esteira, em quatro fileiras contínuas, que depois são subdivididas em grupos de quatro linhas e três colunas, totalizando doze embalagens. As embalagens são posicionadas dentro de uma caixa de papelão cartonado por um empurrador pneumático.

As caixa de papelão desmontadas são alimentadas por um magazine. Nele o operador posiciona as caixas desmontadas através de uma abertura externa. Um braço mecânico motorizado faz a retirada do papelão do magazine e o posiciona no encaixe da máquina, onde são feitas as dobras necessárias e é aplicada a cola para o fechamento de parte das abas. O conjunto de doze embalagens é posicionado pelo empurrador na caixa montada parcialmente e depois é finalizada a dobra e colagem das abas laterais e superior restantes, completando o fechamento da caixa. Depois de alguns segundos, para a secagem parcial da cola, a caixa é movida para fora da empacotadora, rotacionada em 90 graus e segue por uma esteira para a paletização. Um esquema do funcionamento da empacotadora está demonstrado na figura 1.

Figura 1 - Desenho esquemático do funcionamento da empacotadora



Fonte: Autoria própria

Para o projeto foi utilizado um sistema *machine vision*, com sensor de imagem CMOS (complementary metal oxide semiconductor - semicondutor de óxido

metálico complementar), captura de imagem em preto e branco, resolução VGA 640 x 480 pixels, frequência de detecção de 3 a 40 Hertz, alcance de 50 a 1000 mm, campo de visão de 34 x 25 mm a 676 x 507 mm, comprimento focal de 6 mm e voltagem de operação de 22 a 26 VDC (Volts Direct Current - Volts em corrente contínua). Possui iluminação própria do tipo infravermelho. Suas dimensões são 51,5 mm de largura, 70 mm de altura e 40 mm de comprimento. Possui 3 saídas de comutação do tipo PNP (*Plug and Play*) normalmente aberta (NA). Possui dois conectores, um M12x1-Macho, 8-pinos, A-coded; e outro M12x1-Male, 4-pole, D-coded. Seu grau de proteção contra impacto de objetos sólidos e contato acidental com água é o IP54. O sistema possui um processador integrado. Um sensor similar ao utilizado está demonstrado na figura 2.

Figura 2 - Sistema *machine vision*



Fonte: Balluff (2019)

Uma unidade desse sistema estava sendo utilizado em fase experimental na aplicação de cola das tampas, e foi decidido testar a sua viabilidade para a verificação das tampas, pois suas especificações eram condizentes com o tipo de inspeção necessário.

Este equipamento já havia sido utilizado para o controle da impressão da validade e lote logo após a saída da máquina de envase e depois para controle da aplicação de cola nas tampas da embalagem. Em ambos os casos não atendeu as expectativas por possuir limitação técnica e não desempenhar a inspeção com precisão, devido a um volume de trabalho excessivo, que sobrecarregava o processador do equipamento, que conseqüentemente não verificava parte dos

produtos. Para a nova utilização a instalação foi planejada para a empacotadora de embalagens, onde o número de imagens necessárias por minuto é muito menor permitindo um funcionamento melhor. A figura 3 mostra a empacotadora onde foi realizada a instalação.

Figura 3 - Empacotadora



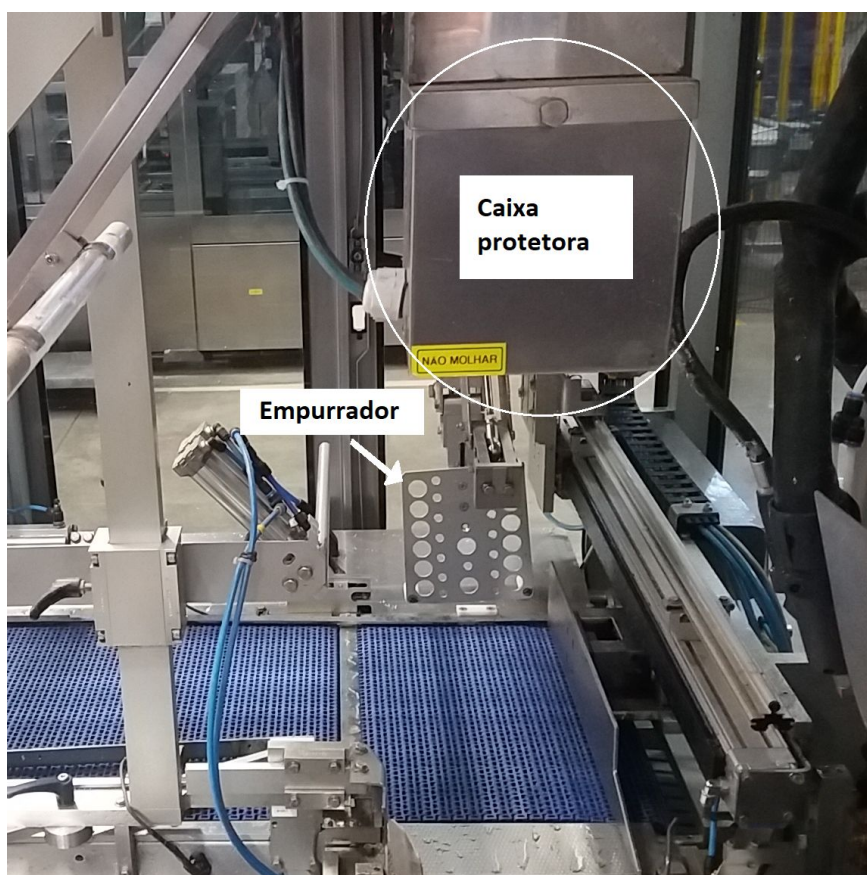
Fonte: Autoria própria

Para os testes iniciais o sistema foi instalado de maneira temporária na empacotadora de uma das linhas de produção de um litro. A escolha da empacotadora foi feita devido a ser a última etapa do processo onde é possível inspecionar diretamente as caixas, para eliminação de possíveis defeitos que não tenham sido corrigidos anteriormente. Também é onde ocorre um dos principais tipos de falha que se desejava corrigir, a falta de embalagens na caixa, que pode ser ocasionada por falhas durante o agrupamento e posicionamento das embalagens dentro da caixa, ou devido a problemas na esteira de entrada das embalagens.

O local escolhido para a instalação foi acima de onde o empurrador posiciona as embalagens dentro da caixa, pouco antes de a mesma ser fechada completamente e enviada para a expedição, por ser o ponto final do processo com a parte superior das embalagens visível. O local também possuía um espaço aberto

para a instalação, sem a necessidade de realizar modificações na estrutura da máquina, não atrapalhando nem atrasando a produção. Nos testes iniciais foi utilizado um suporte próprio que acompanhava a câmera que foi fixado temporariamente com abraçadeiras de *nylon*. Após algumas semanas de testes foi necessário proteger o sensor com uma caixa metálica, deixando somente uma abertura na parte inferior. Na figura 4 o sensor *machine vision* está posicionado acima do empurrador, já dentro da sua caixa protetora.

Figura 4 - Caixa protetora posicionado acima do empurrador



Fonte: Autoria própria

A figura 5 mostra como o *sensor machine vision* ficou posicionado dentro da caixa protetora.

Figura 5 - Sensor dentro da caixa protetora



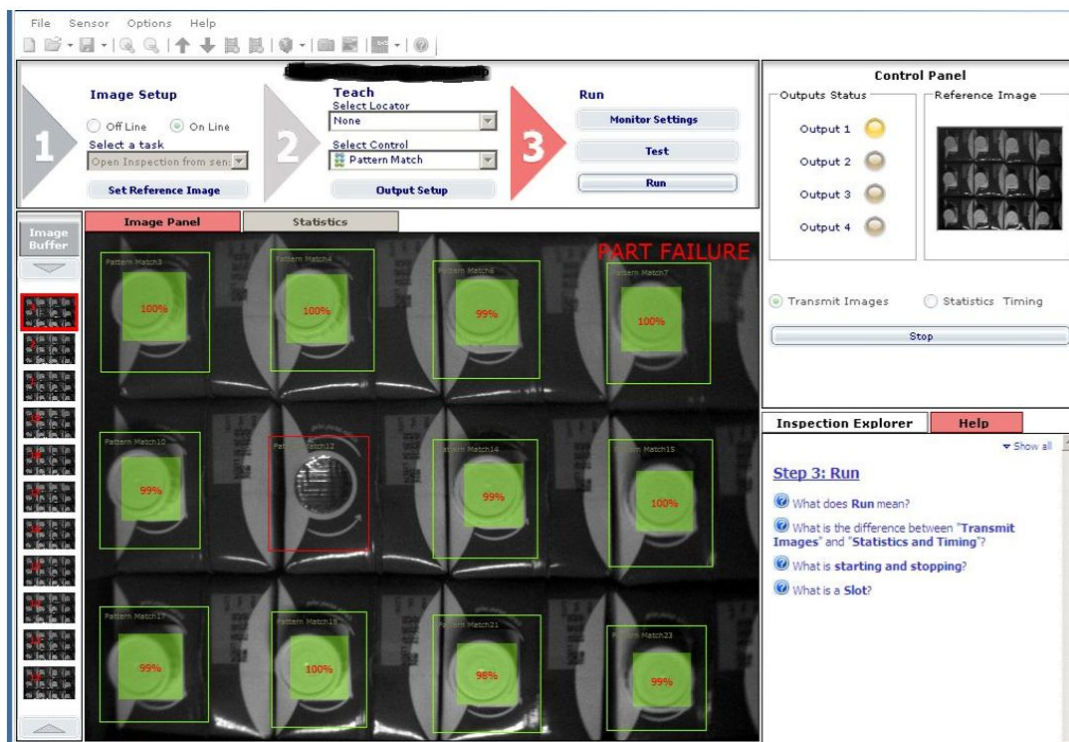
Fonte: Autoria própria

Para a realização dos primeiros testes um técnico da fabricante do sensor compareceu até a fábrica e auxiliou nos procedimentos para instalação e configuração, e demonstrou um programa de computador para ser utilizado em conjunto com o sistema de *machine vision*. O programa é um software proprietário fornecido pelo fabricante do sistema. A comunicação entre computador e câmera é feita diretamente por um cabo de rede, tipo Cat 5. Na extremidade conectada ao sistema foi utilizado um conector M12x1-Fêmea, 8-pinos. Na outra extremidade foi utilizado um conector RJ45 padrão. Com o programa é possível tirar uma foto inicial para ser usada como padrão e depois escolher as regiões de importância na mesma, bem como o nível de precisão de cada área. O sistema funciona com base na busca de um padrão determinado pelo usuário dentro de uma região da imagem, comparando as imagens futuras com esse padrão e fornecendo uma resposta de aprovação ou falha quando os resultados estão dentro ou fora da precisão programada.

A figura 6 mostra uma tela do programa utilizado. É configurada uma área geral para análise (retângulos verdes maiores) , com um padrão menor (retângulo verde preenchido) sendo selecionado como o padrão que deve ser encontrado dentro da área. Caso o programa não encontre o padrão ele mostra região com a falha com um retângulo vermelho e a mensagem de *PART FAILURE*, caso todos os

padrões estejam corretos, a mensagem é *PART OK*. Dependendo do resultado, o sensor emite um sinal elétrico, que é enviado para o CLP (controlador lógico programável) da máquina. Dentro do programa existem várias opções para as condições de envio deste sinal, de acordo com as características de controle desejadas.

Figura 6 - Tela do programa



Fonte: Autoria própria

Para as configurações iniciais de operação foram selecionados os pontos adequados de brilho, saturação, posição dos padrões, posição das áreas de relevância e precisão. Para os ajustes foi utilizada uma caixa modelo posicionada do local da foto, com a máquina parada. Para o acionamento da captura de imagem do sensor é necessário um gatilho, sendo utilizado nessa situação o sinal elétrico de retorno do empurrador, fornecido pelo CLP da empacotadora, com um pequeno atraso, para evitar que o mesmo bloqueie a captura da imagem antes do seu retorno completo. Para melhorar os resultados foram feitos mais ajustes com o equipamento em funcionamento. Os padrões escolhidos para os testes iniciais foram a posição da tampa e a impressão de lote e validade, onde se encontram as principais falhas a serem analisadas. O problema da falta de embalagem também é

verificado nessa configuração pois gera uma mudança grande na imagem que, conseqüentemente, causa uma falha na análise.

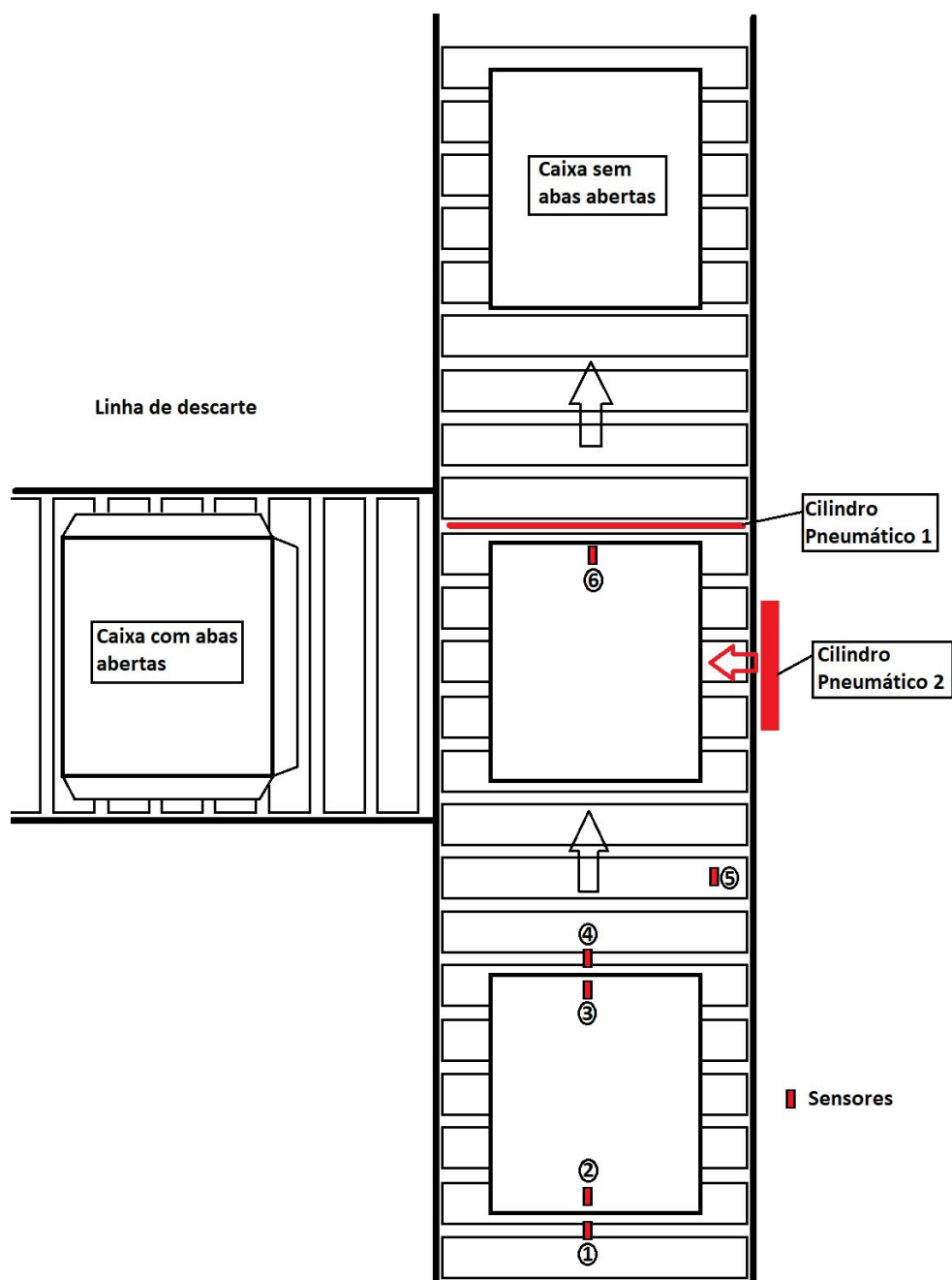
Para a estimativa do custo do projeto foram considerados os materiais, equipamentos e mão de obra. Na parte de materiais está o custo do sensor mais os cabos utilizados, o material para o suporte, as lâmpadas led adicionais, a chapa de acrílico, as películas utilizadas para controlar a iluminação e o custo principal do kit *machine vision*. Na parte de mão de obra foi considerado os custos para fabricação e instalação do suporte, a visita do técnico especializado e os custos da equipe de manutenção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No período inicial, a análise foi realizada somente em computador, com descarte manual de embalagens com problemas. Para confirmar o funcionamento do sistema foram realizados vários testes manuais, principalmente com embalagens sem tampa, com data de validade borrada ou não impressa, e com falta de embalagens na caixa. Os resultados dos testes foram satisfatórios, servindo de justificativa para continuar o projeto.

Após esses testes foi instalado um sistema para realizar o descarte automático de caixas com abas abertas, para evitar problemas na paletização realizada em seguida. O sistema consiste de seis sensores ópticos mais dois pistões pneumáticos. A figura 7 é um desenho esquemático do sistema. Os sensores 2 e 3 são utilizados para verificar a presença da caixa na posição desejada, e fornecer o sinal para acionar os sensores 1 e 4 no momento correto, os quais verificam se alguma aba lateral está aberta. O sensor 5 atua de forma separada verificando a presença da aba frontal superior aberta. O sensor 6 detecta a posição correta da caixa quando ela precisa ser removida pelo cilindro 2. O cilindro pneumático 1 atua como cancela, sendo acionado quando algum dos sensores detecta uma aba aberta, e impedindo a passagem das caixas. O cilindro pneumático 2 faz a remoção dessa caixa para uma linha de descarte lateral e, após seu retorno, envia o sinal para o cilindro 1 regressar, permitindo a passagem das caixas seguintes.

Figura 7 - Desenho esquemático do sistema de descarte



Fonte: Autoria própria

Para utilizar o sistema de descarte de caixas em conjunto com o de *machine vision*, foi alterada a programação da máquina fazendo com que o sinal fornecido pelo sensor em caso de falha impeça a liberação a cola responsável pelo fechamento da aba superior, a qual sai aberta sendo automaticamente descartada pelo sistemas de controle de abas abertas. Na figura 8 pode ser observado um exemplo de uma caixa com a aba frontal superior aberta. Com ambos os sistemas

funcionando foi possível começar a utilizar efetivamente o sistema para eliminar falhas. Para reduzir riscos e evitar paradas na linha de produção todos os testes tiveram acompanhamento por parte de um ou mais dos funcionários da manutenção, e o sistema foi mantido conectado a um computador.

Figura 8 - Caixa com aba aberta descartada da linha

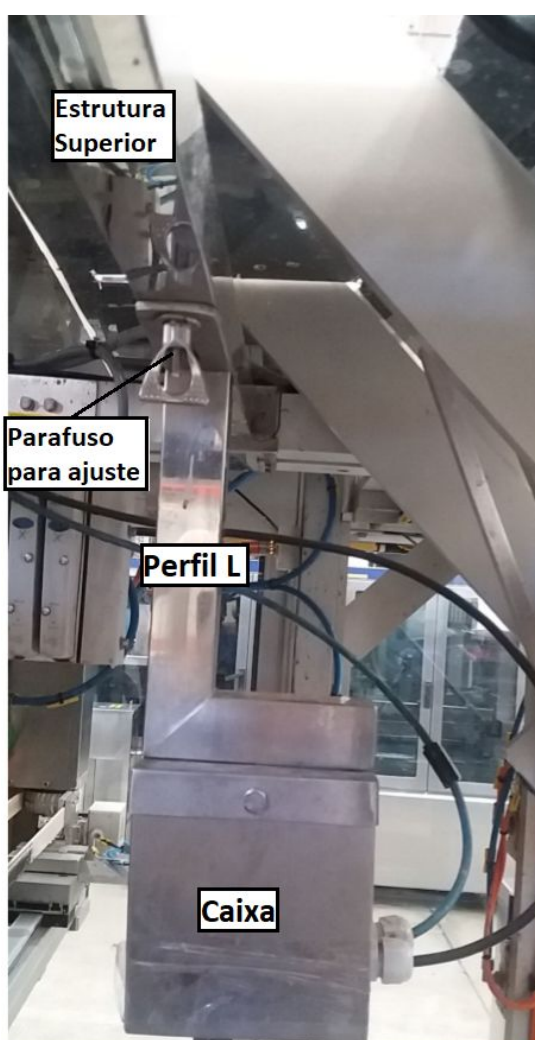


Fonte: Autoria Própria

Um dos primeiros problemas encontrados foi devido a interferência humana. São realizadas limpezas periódicas na máquina após o fim da produção, realizadas manualmente pelos operadores. Durante esse processo muitas vezes ocorria de o operador bater no suporte ou na própria câmera, movendo a mesma do lugar original, causando problemas quando se retornava a produção. Quando a máquina estava operando, também ocorriam colisões ocasionais quando os operadores precisavam retirar uma caixa com algum tipo de problema manualmente da posição abaixo do sensor, pois devido à urgência em retomar a produção para não atrasar a linha, os mesmos não tinham o cuidado de evitar colisões ou esbarrões com o sensor.

Para corrigir essas falhas a primeira modificação que se viu necessária foi a instalação de um suporte mais robusto fixado na estrutura superior da máquina, para reduzir o deslocamento do sensor devido a vibração causada pelo funcionamento da máquina e o posicionamento do sensor dentro de um local mais protegido, pois era comum os operadores colidirem com o sensor, causando falhas devido a movimentação do mesmo e com risco de causar mal funcionamento do sensor. A figura 9 mostra o suporte já instalado.

Figura 9 - Fixação do suporte na máquina empacotadora

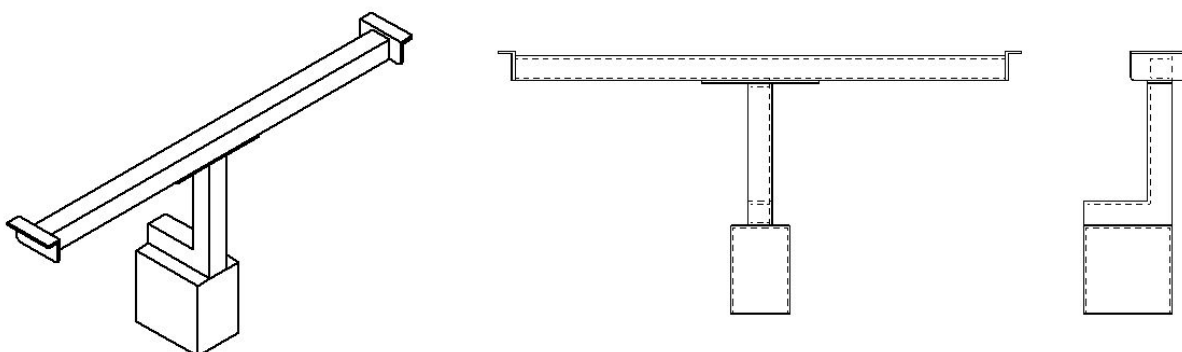


Fonte: Autoria Própria

O suporte construído consiste em uma caixa com 4 paredes laterais e 1 superior, com a parte inferior aberta, com duas aberturas pequenas na lateral para passagem do cabo de alimentação de energia do sensor e o cabo de rede para

comunicação. Essa caixa é soldada a um perfil quadrado metálico em forma de L, que possui uma chapa de três milímetros na sua parte superior. Esse conjunto é fixado na estrutura superior por dois parafusos, com um pequeno espaço de folga que permite pequenos ajustes no posicionamento. A estrutura superior consiste de um perfil quadrado soldado no meio de outro perfil quadrado o qual possui duas chapa nas suas extremidades com 2 parafusos cada. Esses parafusos laterais permitiam mais ajustes na posição do sistema e quando apertados mantêm o sistema fixo no local desejado. O sistema está ilustrado na figura 10. A redução na movimentação do sensor durante o funcionamento da empacotadora melhorou significativamente os resultados.

Figura 10 - Suporte do sensor esquematizado



Fonte: Autoria Própria

O maior problema encontrado durante o primeiro mês de teste foi na detecção da impressão da validade e lote. Para o sensor detectar falhas como impressão borrada ou cortada era necessário utilizar uma precisão muito elevada (na faixa de 95 a 100%) nas configurações, o que fazia com que mesmo mudanças muito pequenas em outros pontos das embalagens fossem detectadas como falhas, gerando descarte de grande volume de embalagens sem defeitos. Em alguns casos o descarte ficava em 10 a 20% da produção total. Devido aos diferentes tipos de produtos embalados na mesma linha, as modificações no *design* da embalagem

também exigiam o carregamento manual de um novo programa diferente para cada mudança no produto, o que exigia a intervenção de um dos funcionários treinados da manutenção, podendo gerar atrasos na produção. Por esses motivos acabou sendo necessário desconsiderar o campo da impressão de validade e lote na análise.

Outro grande problema encontrado ocorria após a mudança de turno. A maioria dos testes e configurações foi realizada durante o turno B de trabalho, que consiste do horário das 7h40min até as 16h00min. Nos turnos A (horário das 00h00min até às 7h40min) e C (horário das 16h00min até as 00h00min), era muito comum o equipamento começar a descartar um número muito elevado de caixas, sendo necessário que os manutentores desligassem manualmente o sistema para não afetar negativamente a produção. Para realizar este desligamento era necessário parar a empacotadora e desconectar manualmente o cabo de alimentação de energia do sensor. Para facilitar esse desligamento e permitir que os próprios operadores pudessem realizá-lo em casos de problemas foi instalada uma botoeira de liga e desliga com um led indicativo. Assim em casos de problemas é possível desativar rapidamente o sistema sem muitas perdas.

Durante um mês e meio foram realizados diversos testes durante os três turnos, com modificações nos parâmetros do sensor e nas condições do local de instalação para tentar encontrar a causa dos descartes excessivos, período no qual o sensor teve de ficar desligado na maior parte dos turnos B e C para evitar o descarte excessivo.

A causa do problema nos outros turnos foi identificada depois de algumas semanas. Sem a luz do sol e somente com a iluminação das lâmpadas artificiais as fotos ficavam diferentes o bastante do padrão a ponto do sistema identificá-las como falhas. Para tentar padronizar a condição de iluminação foi instalada uma película escura nas laterais de vidro da empacotadora e foi colocada uma chapa de acrílico escurecido na parte superior da máquina, que originalmente era aberta. Próximo do sensor foi colocado uma lâmpada tubular tipo led de 24W, focada na parte de cima das embalagens. O problema ainda persistiu e foi colocada mais uma camada de fita

mais escura na chapa superior. Mesmo com a redução no problema a porcentagem de descartes ainda ficava muito alta em alguns períodos.

Um dos aspectos que dificulta o controle da iluminação externa é a abertura para alimentação de papelão na máquina, mostrada na figura 11, que fica relativamente perto do local de instalação do sistema e não pode ser coberta devido às características operacionais da máquina.

Figura 11 - Alimentação de papelão

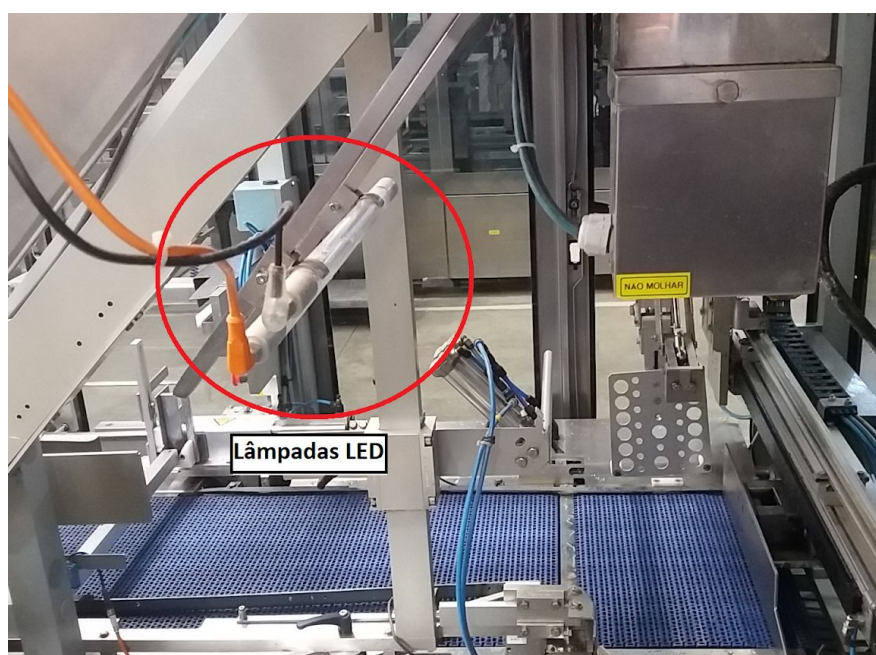


Fonte: Aatoria Própria

Para tentar resolver o problema, foram feitos novos testes com outras condições de iluminação, incluindo o próprio *flash* da do sistema de visão mecânica, o posicionamento de 30 cm de fita de led (12 V, potência de 12 W/m) próxima das embalagens, a utilização de um de um conjunto redondo de leds de 40 W na cor vermelha e o posicionamento de um número maior de lâmpadas tubulares led com posições diversas. Depois de diversos testes e modificações, a melhor opção encontrada foi usar o sistema de flash interno do sistema em conjunto com 2 lâmpadas leds tubulares de 12 W, direcionadas para a parte de cima das caixas, com um ângulo que não causavam reflexo para a câmara. O posicionamento das lâmpadas está demonstrado na figura 12. Algumas das configurações de brilho e

contraste também precisaram ser ajustadas para reduzir o efeito do reflexo, especialmente para utilização em embalagens com topo predominantemente branco. A precisão da inspeção foi outro ponto modificado, precisando ser reduzida de 95% para 80% para garantir o funcionamento em todos os turnos. Depois de todas as mudanças e algumas semanas de testes o sistema pode finalmente ficar operando automaticamente durante toda a produção, e em todos os turnos.

Figura 12 - Posição das lâmpadas



Fonte: Autoria Própria

Para assegurar o funcionamento correto do sistema foi implantado um controle interno por parte da manutenção, onde a cada 2 horas, no máximo, de produção é feito um teste da câmera, com uma embalagem fora de posição ou sem tampa, e o resultado é registrado em um caderno para análise posterior, caso necessário. Quando o teste apresenta algum problema o manutentor acessa o programa em operação conectando um *notebook* e faz as correções necessárias, como troca de receita (parâmetros definidos da máquina que ficam salvos para cada tipo de produto) ou pequenos ajustes nos padrões do programa.

Acompanhando a operação ao longo dos seis meses foi possível observar que a maioria dos problemas aparecia após a limpeza geral do equipamento, devido

a possível interferência dos operadores batendo acidentalmente no sensor e quando a mudança no padrão da embalagem em produção é muito significativa, sendo que nesses casos a intervenção e ajustes por parte de um manutentor era a melhor opção para evitar descartes excessivos.

Para toda a equipe envolvida o projeto forneceu um novo desafio e oportunidade de aprendizado. Considerando a tendência atual de aumento na automatização e implementação de tecnologias focadas na Indústria 4.0 os conhecimentos adquiridos com o sistema de *machine vision* podem ser muito úteis e facilitar a implementação de outras tecnologias similares futuramente caso as mesmas sejam interessantes para melhorar a produção ou atender novas demandas.

Caso a empresa tenha interesse em implantar outros sistemas semelhantes, ou um equipamento com outras especificações para controlar a situação nas impressões dos lotes e validade, o processo deverá ser mais fácil, visto que um grande número de variáveis presentes na fábrica já são conhecidas e a equipe de manutenção e os operadores já estão mais familiarizados com os equipamentos do tipo *machine vision*.

A análise dos custos do projeto foi realizada considerando os materiais, equipamentos e mão de obra. Cada um dos dois conjuntos *machine vision* teve um custo de R\$ 16.000,00. Para o suporte, lâmpadas, cabos e acrílico o valor foi de aproximadamente R\$ 800,00. Na parte da mão de obra, foi considerado um custo inicial para instalação e ajustes, somado aos gastos operacionais para controle e correções realizados periodicamente pela equipe de manutenção.

Apesar investimento inicial ser alto, o sistema substitui um funcionário em cada um dos três turnos, mais um folguista, que possuem um custo mínimo de R\$ 3992,00 por mês. Considerando uma produção no equipamento de 30% das horas disponíveis, o custo médio mensal economizado é de R\$ 1197,60. O custo operacional pode ser estimado por um total de uma hora da equipe de manutenção por turno, quando a máquina está em funcionamento. Considerando a mesma porcentagem de horas do mês em produção, são necessárias 27 horas da equipe de

manutenção para manter o sistema em condições adequadas. Considerando o salário médio dos manutentores, o custo operacional é de aproximadamente R\$ 395,00. A iluminação das duas lâmpadas instaladas terá um custo mensal de aproximadamente R\$ 2,00. Assim a implantação do sistema permite uma economia direta de R\$ 802,60 por mês. Após 21 meses os custos iniciais do projeto serão compensados com essa economia.

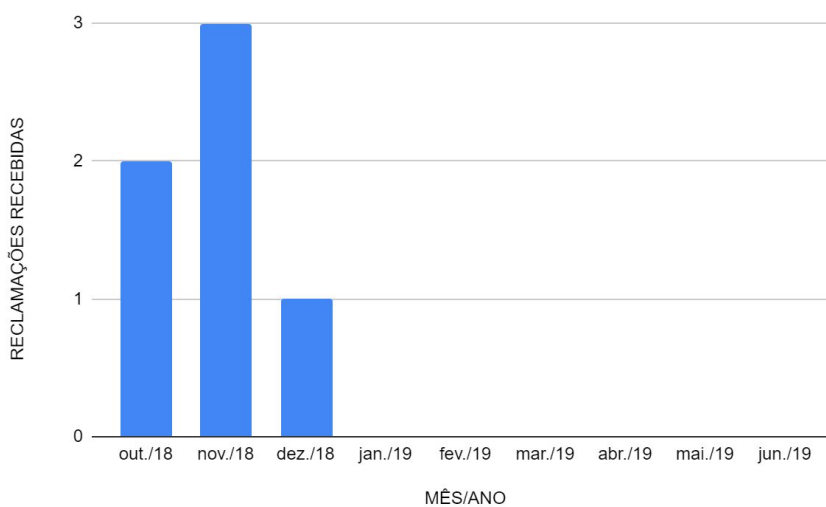
Além dessa economia direta deve ser considerada a redução nas reclamações e possíveis problemas gerados pelas faltas de tampas e embalagens, que poderiam acabar causando perda de clientes e problemas para as marcas produzidas.

O operador substituído também acabava trabalhando em uma posição com risco ergonômico, que pode ser eliminado, evitando problemas futuros com doenças ocupacionais e possíveis indenizações e afastamentos por problemas de saúde acarretados por essa situação.

Considerando o quanto o mercado de lácteos é competitivo nos dias atuais, a associação das marcas a um produto de qualidade é um fator de grande importância, por isso a redução das falhas obtida com o projeto é um ponto de grande valor para manter a competitividade e a relevância da fábrica no mercado.

A equipe de controle de qualidade acompanhou algumas etapas do processo e se mostrou satisfeita com os resultados obtidos, sendo que nos 6 meses analisados no primeiro semestre de 2019 não houveram mais reclamações referentes aos problemas de falta de tampas ou de embalagens. No gráfico 1 é possível ver a redução das reclamações, sendo que no mês de Novembro de 2018, onde foram registradas 3 reclamações, teve início a análise e implantação do projeto. Os dados foram obtidos a partir dos relatórios divulgados pela equipe da garantia da qualidade.

Gráfico 1 - Número de reclamações recebidas pelo SAC a respeito de defeitos nas embalagens e/ou tampas.



Fonte: Autoria Própria

Devido aos bons resultados obtidos, um terceiro sistema foi adquirido e estava nas últimas etapas de implantação e funcionamento na linha de produção de embalagens pequenas (200 a 250 ml) com tampa rosqueada.

5. CONCLUSÕES

As áreas de *computer vision* e especialmente *machine vision* ainda são relativamente recentes, porém vem apresentando grandes inovações nos últimos anos. Com os rápidos avanços na área computacional e nos equipamentos disponíveis os custos para implantação vem diminuindo e tornando os sistemas acessíveis para mais aplicações práticas.

No caso estudado, após seis meses de análise do projeto, foi possível obter bons resultados e experiências com o sistema. Apesar de não ser possível o controle das datas de validade e lotes impressos, os problemas mais graves de falta de tampas ou embalagens foram controlados.

O objetivo final de eliminar as reclamações a respeito de problemas nas tampas de embalagens foi atingido, pois os relatórios mensais da garantia da qualidade demonstraram que não houve mais nenhuma reclamação depois que o sistema foi colocado em funcionamento contínuo. Dessa forma foi assegurada a satisfação tanto dos consumidores finais como dos clientes terceiros cujos produtos são embalados na unidade.

Na questão dos custos, o investimento inicial foi considerável porém o retorno de menos de dois anos torna a proposta atrativa. A substituição do funcionário em uma posição de risco ergonômico também representa um ponto positivo para a empresa por evitar problemas futuros com doenças ocupacionais e possíveis afastamentos e indenizações.

Para trabalhos futuros pode-se sugerir a implementação e análise de um sistema para o controle das impressões de validade e lote, utilizando um conjunto *machine vision* mais sofisticado, ou outras soluções similares. A verificação do funcionamento e vantagens do sistema em condições reais pode demonstrar se um investimento maior nesse ponto seria vantajoso ou não para a fábrica.

REFERÊNCIAS

ALEIXOS, N. et al. Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processors. **Computers and electronics in agriculture**, v. 33, n. 2, p. 121-137, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169902000029>> Acessado em: 05/06/2019.

ALMEIDA, RUBENS HP; CORSO, DIEGO A.; JUNIOR, ASB. Visão Computacional-Sistemas de Visão Aplicados à Inspeção Industrial. **Anais do ENETEC**, 2007. Disponível em: <<http://www.enetec.deinfo.uepg.br/trabalhos/Rubens%20Henrique%20Pailo%20de%20Almeida.pdf>> Acessado em: 16/05/2019.

BALLUF. **Machine Vision**. Disponível em: <<https://www.balluff.com/local/br/products/product-overview/machine-vision-and-optical-identification/machine-vision/>> Acessado em: 14/09/2019.

BLASCO, J.; ALEIXOS, N.; MOLTÓ, E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. **Biosystems engineering**, v. 85, n. 4, p. 415-423, 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511003000886>> Acessado em: 05/06/2019.

BORTH, Marcelo Rafael et al. A Visão Computacional no Agronegócio: Aplicações e Direcionamentos. **7º Encontro Científico de Administração, Economia e Contabilidade (ECAECO)**, 2014. Disponível em: <http://www.gpec.ucdb.br/pistori/publicacoes/borth_ecaeco2014.pdf> Acessado em: 14/05/2019.

CHEN, Yud-Ren; CHAO, Kuanglin; KIM, Moon S. Machine vision technology for agricultural applications. **Computers and electronics in Agriculture**, v. 36, n. 2-3, p. 173-191, 2002. Disponível em: <<https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=16855&content=PDF>> Acessado em: 06/06/2019.

DAI, Yiquan; ZHU, Kunpeng. A machine vision system for micro-milling tool condition monitoring. **Precision Engineering**, v. 52, p. 183-191, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141635917302817>> Acessado em: 26/05/2019.

DAVIES, E. Roy. **Computer and machine vision: theory, algorithms, practicalities**. Academic Press, 2012.

FACON, Jacques. **Processamento e análise de imagens**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2002.

GIBSON, Ian; MING, Ling Wai. Low-cost machine vision monitoring of the SLS process. In: **1997 International Solid Freeform Fabrication Symposium**. 1997.. Disponível em: <<https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/70326>> Acessado em: 08/05/2019.

GOLNABI, H.; ASADPOUR, A. Design and application of industrial machine vision systems. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 23, n. 6, p. 630-637, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584507000233>> Acessado em: 26/05/2019.

HERAKOVIC, Niko et al. A machine-vision system for automated quality control of welded rings. **Machine vision and applications**, v. 22, n. 6, p. 967-981, 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00138-010-0293-9>> Acessado em: 23/05/2019.

KONDO, Naoshi. Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 3, p. 145-152, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224409002611>> Acessado em: 08/05/2019.

KURADA, S.; BRADLEY, C. A machine vision system for tool wear assessment. **Tribology International**, v. 30, n. 4, p. 295-304, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X96000588>> Acessado em: 05/06/2019.

LIMA, Rogério Prestes Santos; CARVALHO, Claudinei Santos Souza. **Implantação de um sistema de visão computacional aplicada ao controle de qualidade de agulhas em uma indústria farmacêutica**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3139>> Acessado em: 19/05/2019.

NEVES, Luiz Antônio Pereira; VIEIRA NETO, Hugo; GONZAGA, Adilson. **Avanços em visão computacional**. Curitiba: Omnipax, 2012.

OLIVEIRA, Luiz ES et al. Inspeção automática de defeitos em madeiras de pinus usando visão computacional. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, v. 15, n. 2, p. 203-218, 2008. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/rita/article/view/rita_v15_n2_p203-218> Acessado em: 14/05/2019.

OTTAVIAN, Matteo; BAROLO, Massimiliano; GARCÍA-MUÑOZ, Salvador. Maintenance of machine vision systems for product quality assessment. Part I. Addressing changes in lighting conditions. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 52, n. 35, p. 12309-12318, 2013. Disponível em: <<https://pubs-acsc-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1021/ie402910z>> Acessado em: 06/06/2019.

PITERI, Marco Antônio; RODRIGUES, José Carlos. **Fundamentos de visão computacional**. Presidente Prudente: FCT/UNESP-PP, 2011. Disponível em: <http://docs.fct.unesp.br/docentes/cartogalo/web/Cap_Livro/2010_CLivro_WVC_Galo_et al.pdf> Acessado em: 19/05/2019.

RUDEK, Marcelo; COELHO, Leandro dos Santos; CANCIGLIERI JR, O. Visão Computacional Aplicada a Sistemas Produtivos: Fundamentos e Estudo de Caso. **XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção-2001, Salvador**, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Osiris_Canciglieri_Jr/publication/228549623_Visao_Computacional_Aplicada_a_Sistemas_Produtivos_Fundamentos_e_Estudo_de_Caso/links/00b49537cba93253ff000000/Visao-Computacional-Aplicada-a-Sistemas-Produtivos-Fundamentos-e-Estudo-de-Caso.pdf> Acessado em: 09/05/2019.

RIOS, Luiz Romário Santana. **Visão computacional**. Departamento de Ciência da computação—Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2011. Disponível em: <[http://homes.dcc.ufba.br/~luizromario/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20de%20IA/Artigo%20\(final\).pdf](http://homes.dcc.ufba.br/~luizromario/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20de%20IA/Artigo%20(final).pdf)> Acessado em: 14/05/2019.

SHAPIRO, L. G.; STOCKMAN, G. C. **Computer Vision**, March 2000.

SZELISKI, Richard. **Computer Vision: Algorithms and Applications**. Wenatchee, Wa: Springer, 2010. 979 p. Disponível em: <http://szeliski.org/Book/drafts/SzeliskiBook_20100903_draft.pdf>. Acesso em: 13 maio 2019.

WILLIAMSON, Mark. **Keeping Up Standards in Machine Vision**: The use of industrial vision as part of Industry 4.0 and smart factories has been discussed extensively in recent years, but requires machines to speak the same language. *Quality*, Dec. 2018, p. 33A+. Disponível em: <<http://link.galegroup.com/apps/doc/A568148280/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=92e549b6>> Acessado em: 26/05/2019.

WU, Wen-Yen; WANG, Mao-Jiun J.; LIU, Chih-Ming. Automated inspection of printed circuit boards through machine vision. **Computers in industry**, v. 28, n. 2, p. 103-111, 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166361595000631>> Acessado em: 04/06/2019.